

光源加速器インターロックシステム更新作業時のトラブルと その対応について

○濁川 和幸、長橋 進也、團 優菜

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

1. はじめに

KEK の光源加速器では 2021 年度（R3 年度）から老朽化したインターロックの更新作業を開始し、2024 年（R6 年）秋の運転から新インターロックシステムで加速器運転を開始した。

この更新作業は全てが順調に進んだわけではなく、幾つかのトラブルが発生し、その都度対応しながら進めていった。

本報告では、はじめに新インターロックシステムについて簡単に説明したのち、その更新作業中にどのようなトラブルが起こりどのような対応を行ったかについて報告をする。

2. 新インターロックシステムについて

2-1. 更新作業の基本方針

光源加速器のインターロックシステムは設置から 40 年以上が経過し、老朽化が問題になっていた。そこで、インターロックシステムを全面的に更新することとし、各種配線についても出来る限り新たに配線し直すこととした。また、更なる安全を考慮し、回避確認などの新たな仕組みも組み込むこととした。

ただし、インターロックシステムの基本ロジックに関する部分は変更しないこととし、インターロックシステムの更新で原子力規制委員会への変更申請などをする必要の無いように進めた。

2-2. 新インターロックシステム

新インターロックシステムについての詳細は第 22 回日本加速器学会の報告書^[1]や R3 年度核融合科学研究所技術研究会の報告書^[2]に詳細を記載しているが、最終的なイメージは図 1 のようになっている。

配線には産業用 Ethernet を使用した Remote IO を採用し^[3]、省配線に考慮した。また、加速器制御システムとも必要な情報をやり取りしているが、情報表示や PLC（Programable Logic Controller）のログ収集に SCADA を使用するなど、新システムだけで完結するようにシステム構築されている。

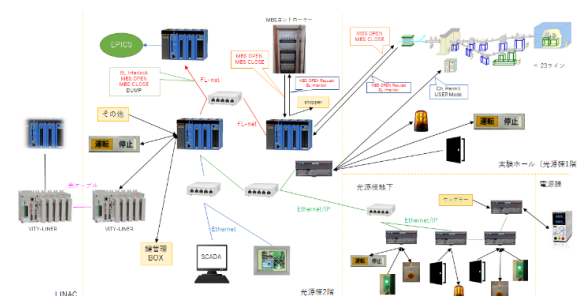


図 1 新インターロックシステムのイメージ

3. 更新作業中のトラブルとその対応

新インターロックシステム更新時のトラブルとその対応について 6 つ紹介する。

3-1. 作業期間の遅延

当初、新インターロックシステムの更新作業は、2021 年度当初から開始し 2 年間の歳月をかけて行うという余裕を持った計画を立てていた。さらに旧システムとある程度の期間は平行運用をすることで動作確認などをする予定であった。

しかしながら、作業開始直後から新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大に伴う部材調達の遅れなどから各調達機器の長納期化などが発生し、予定通りに進まないことが多く発生した。

これには画期的な対応策がある訳ではなかったが、工程の順番などはその都度臨機応変に対応し、出来ることから行うことで、作業期間の遅延が少なくなるように務めた。

それでも、結果として新インターロックシステムの本格運用は 2024 年 10 月からの運転となってしまう、当初予定よりほぼ 1 年遅れでの運用開始となった。

3-2. カメラの故障

新インターロックシステムの一部として、ネットワーク対応のカメラ（図 2）を光源加速器の加速器室内に 14 台設置した。カメラの画像は、図 3 のように専用ソフトウェアを使用して確認が出来るようになっている。



図 2 加速器室内に設置したカメラ

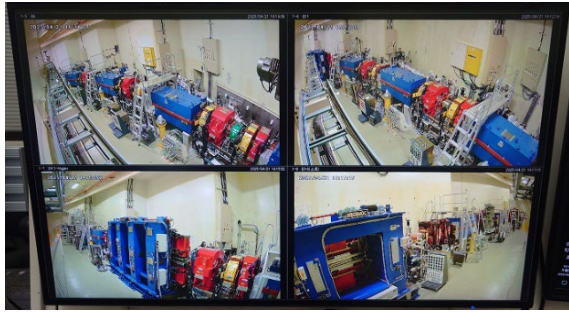


図 3 カメラ画像の表示

カメラは画角を考慮して、できる限り死角のないようにまんべんなく設置したが、放射線量が高い場所に設置することになってしまったカメラ 1 台が 1 年経たずに故障してしまった。

この故障は放射線量を考慮せずに設置したためであることが明らかであった。同じ場所に予備機を設置してもすぐに故障すると思われるため、同じ光源加速器の塩澤さんに協力していただき、ラジオクロミックフィルムを使用した放射線量の測定^[4]を行い、画角と放射線量の両方を考慮した場所にカメラを移設した。これにより、移設から 2 年以上経過した現在も故障することなく動作している。

3-3. 回転灯の故障

加速器室内には安全を確保するための非常停止ボタンが設置されている。この非常停止ボタンについても新しいものを作成し変更した。

新しい非常停止ボタンは図 4 のようになっており、加速器の運転開始に合わせて上部に設置した小型回転灯が点灯する仕組みになっている。



図 4 非常停止ボタンと回転灯

非常停止ボタンも加速器室内に均等に配置されているが、3-2 で述べたカメラ同様に、一部放射線量が高い場所に設置することになった非常停止ボタンの回転灯が 1 年経たずに点灯しなくなってしまった。この回転灯は LED タイプのものであったが、すでに cERL (compact Energy Recovery Linac) の非常停止ボタンでも使用したものであり^[5]、cERL では 10 年以上が経過した今でも故障なく動作しているものであるため、このように短い期間で点灯しなくなるとは思っていなかった。

カメラの場合と同様にラジオクロミックフィルムを使用して放射線量の少ないところに移設する対応で解決策とすることも出来たが、非常停止ボタンは旧システムで設置していたものとほぼ同じ場所に配置したいという要望もあり、カメラの時とは違い非常停止ボタンの移設を行うのではなく、LED タイプの回転灯を違うもので代用することにした。

非常停止ボタンの作成と設置をしていただいた業者さんとも対応策を考え、壊れてしまった LED タイプの回転灯の中身をフィラメント電球に変更して点灯させるように改造することとした。LED の回転灯が外部から供給される 24V で動作していたこともあり、フィラメント電球には図 5 のように、トラックのウィンカー電球を入れて点灯するように改造を行った。



図 5 回転灯改造後のランプ部

改造したものは 24 時間連続点灯していることもあり、1 年程度で電球切れになってしまうこともある。しかしトラックで使用されているものであるため、安価ですぐに入手することが可能であり、また製品そのものがすぐに無くなることもないと考えられるので、良い改造案が見つかったと思っている。

放射線量の高い場所以外にある回転灯については、現在までに故障したものはない。

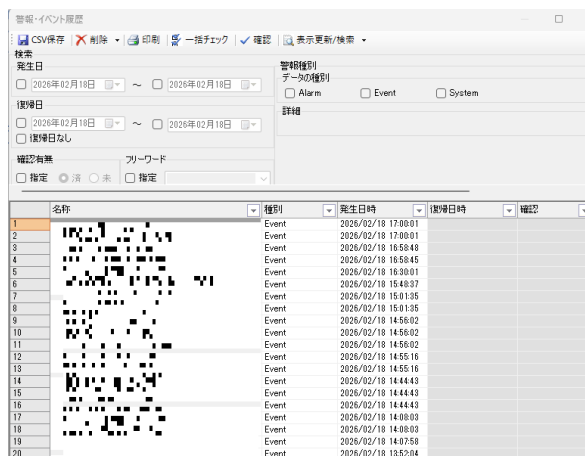
3-4. ログの収集と表示

2-2 でも述べた通り、PLC のログの収集とその表示は、使用している SCADA ソフトに標準で搭載さ

れているログ機能によって行っていた。計画段階から、使用した SCADA ソフトのログ機能は SCADA ソフトを動かしている PC の時間でログの収集が行われることが分かっていたが、これについては PC とインターロックシステムの中核となる PLC の時間を同期させれば良いだろうと考えシステムを構築した。

しかし実際に使用していると、このログ機能ではタイムスタンプが秒単位でしか残らないため、同時多発的にアラートの発報があった場合などに、どれが最初に起こった現象かがわかり難いということなどに直面し、ログ収集について見直しを行う必要が出てきた。

この対策として、自身でのソフトウェア作り込みで PLC のログ収集と表示を行うか、比較的簡単に PLC のログ収集が出来て表示機能も行える製品を導入できないかの調査を行った。調査中に cERL のインターロックシステムで使用実績のある監視・制御システムである「EverGreenVision」が⁶⁾、ログ収集・表示機能のみに限定して使用することが可能であることが判明し、さらには今回使用した SCADA ソフトとの共存も可能であることがわかったため、「EverGreenVision」のログ収集・表示機能を新インターロックシステムでも採用することとした。図 6 が新しく導入したログ表示画面である。



名称	種別	発生日時	確認日時
1	Event	2026/02/18 17:00:01	
2	Event	2026/02/18 17:00:01	
3	Event	2026/02/18 16:58:48	
4	Event	2026/02/18 16:58:45	
5	Event	2026/02/18 16:30:01	
6	Event	2026/02/18 15:48:37	
7	Event	2026/02/18 15:01:35	
8	Event	2026/02/18 15:01:35	
9	Event	2026/02/18 14:56:02	
10	Event	2026/02/18 14:56:02	
11	Event	2026/02/18 14:56:02	
12	Event	2026/02/18 14:55:16	
13	Event	2026/02/18 14:55:16	
14	Event	2026/02/18 14:44:43	
15	Event	2026/02/18 14:44:43	
16	Event	2026/02/18 14:44:43	
17	Event	2026/02/18 14:08:03	
18	Event	2026/02/18 14:08:03	
19	Event	2026/02/18 14:07:58	
20	Event	2026/02/18 13:52:04	

図 6 ログ表示画面

新しいログ収集・表示機能は PLC の時間でタイムスタンプが押され、その時間も ms 単位まで取得することが可能なため、アラート発報時のログも比較的容易に確認できるようになった。

3-5. その他

新インターロックシステムでは多くのリミットスイッチを使用しているが、屋外で使用していたリミ

ットスイッチの一つが設置から 1 年経過しないで接点不良が起こってしまった。

屋外に設置可能な防水型のリミットスイッチを使用していたが、更なる対策として、同型の「耐候型」となっているリミットスイッチに交換した。

配線についても忘れや配線間違えなどが発生してしまった。配線間違えについては、配線後に個別に確認も行っていたが、更新作業終了後の全体動作確認中に判明したものが数点あった。

こちらについては、このようなことがある前提で動作確認を行っていたこともあり、動作確認を行いながら配線のやり直しや新規配線するなどの作業を行いながら、動作確認を進めていった。

4. 現在進行中の作業

本来は新インターロックシステムの更新作業の進行と同時にリファレンスマニュアルなどの整備を行っていかなくてはいけなかったのだが、この整備が後回しになってしまい、運用開始当初には簡単なバージョンしか用意できなかった。常駐していただいている運転員さんには口頭での説明も行ったが、やはりリファレンスマニュアルなど文章作成の重要性を軽視しては行けないと反省している。

現在は、2025 年 4 月に新しく配属された技術職員が中心となって、わかり難い部分の書き換えを行うなどリファレンスマニュアルを日々更新している。さらにリファレンスマニュアルだけでなく、各種操作の手順書を用意するなど、加速器運転に必要なマニュアル類の整備も進んでいる。

これらマニュアル類は図 7 のように SharePoint のページにまとめて関係者が履歴なども確認可能なようになっている。

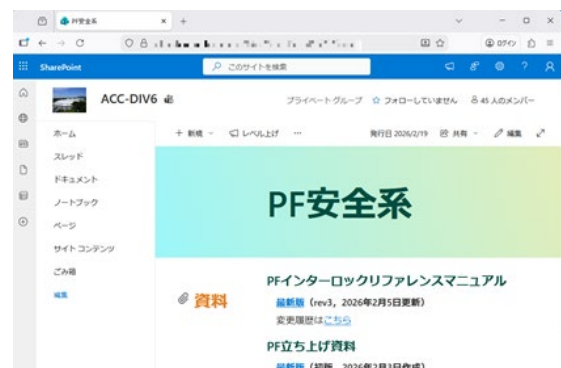


図 7 SharePoint のページ

さらには、AI や機械学習を使用する可能性も探っている。まずは生成 AI によるラダープログラム作成の可能性を探ることを開始した。

機械学習についても、何らかの問題が起こる前にアラートを出したりすることが出来ないかなど、その可能性を探ることから開始している。

5. 教訓として

今回の更新作業は小人数で行った作業でもあったとは言え、結果として十分な検討が出来ていなかった部分にトラブルが出てしまったものと思っている。当初から更新作業に必要な期間を少し長めに設定するなどして、細かい部分まで注意深く検討を重ねれば、新型コロナウイルス(COVID-19)の感染拡大に伴う作業期間の延長は別として、最初から避けられたトラブルが多かったのではないかと考えている。

自分自身の今後の作業の教訓とするのは勿論こと、この報告書を読んでいただいた方の作業を行う前の参考になれば幸いである。

6. 謝辞

ラジオクロミックフィルムを使用した放射線量の測定など、トラブルの対応策を考えるために、光源加速器関係者や常駐して運転業務を行っていただいている三菱電機サービスの皆さんなど、多くの方の協力やアドバイスをいただいた。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 濁川和幸、他、KEK PF の新インターロックシステム、第 22 回日本加速器学会年会報告書、(2025).
- [2] 濁川和幸、他、光源加速器インターロックシステム更新計画、R3 年度核融合科学研究所技術研究会報告書、(2022).
- [3] 石井晴乃、他、放射光源加速器インターロックシステム更新に伴うフィールドバスの検討、R3 年度核融合科学研究所技術研究会報告書、(2022).
- [4] 塩澤真未、他、ガフクロミックフィルムによるビームロス評価、R3 年度核融合科学研究所技術研究会報告書、(2022).
- [5] 濁川和幸、他、cERL 安全管理システム、H24 年度愛媛大学総合技術研究会報告書、(2013).
- [6] 濁川和幸、他、cERL 安全管理システム-その 2、H25 年度核融合科学研究所技術研究会報告書、(2014).